于地理探测器下的川西高原地表温度空间格局及影响因子分析
——以西昌市为例 ①

罗 瑶[1,2]， 彭文甫[1,2]， 董永波[1,2]， 罗艳玫[1,2]， 张冬梅[1,2]

（1 四川师范大学地理与资源科学学院，四川 成都 610068；
2 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室，四川 成都 610068）

摘 要： 以西昌市为例，选取2010年和2015年Landsat系列遥感影像，在“3S”技术的支持下，采用监督分类中的最大似然法，并结合Google Earth高分辨率影像和GPS野外实地验证数据获取西昌市2010年和2015年土地利用信息；再利用大气校正法反演获得西昌市2010年和2015年地表温度，并对反演结果中的高温异常区进行实地调研验证；最后，采用地理探测器定量分析了坡度、总辐射、坡向、海拔、年均降水量、年均气温、植被类型、土壤类型以及土地利用类型9个影响因子对地表温度影响的解释力。结果表明：(1)地表温度空间分布存在显著差异。(2)影响因子对地表温度的影响存在差异，其中海拔和年均气温对地表温度的影响较大，而总辐射影响最小。(3)不存在单一因素或是单一性质的因素影响地表温度。不同影响因子之间存在交互作用，对地表温度的影响是相互增强或非线性增强的。(4)部分影响因子对地表温度具有显著性差异影响，并且地表温度均值最大时，对应着影响因子不同的范围或类型。

关 键 词： 地表温度；空间格局；影响因子；地理探测器

文章编号

地表温度是反映地球表面能量流和物质流时空变化最敏感的综合指标[1]，是地表过程变化研究中一个不可或缺的重要地球物理参数，蕴含着丰富的地学信息，对农业生产、城市热岛、气候变化、自然灾害和环境监测等方面有着重要意义。从20世纪80年代开始，利用热红外遥感数据进行地表温度反演已经成为研究热点[2]。目前，学者对地表温度的研究主要集中在反演理论和方法[3-4]、应用[5-12]以及影响因子[13-15]等方面。

地理探测器是一种基于统计学原理，通过分析层内方差与层间方差的差异定量表达研究对象空间分异性的研究方法[16]。该方法不仅可探测数据型数据，也可探测定性数据(类型数据)，还可定量探测表达某一时空现象的主要驱动因子以及不同驱动因子之间交互作用[16]，与其他空间异质性探测工具相比地理探测器具有更高的解释效率[17]。该模型最先运用于疾病传播及成因分析[18-20]，近些年来，也被广泛运用于土地利用变化[21]、地理分界线探讨[22-23]、经济增长空间分异[24]、景观生态[25-27]以及农村经济[28]等方面。对地表温度影响因素进行研究时，研究学者大多采用了数理统计模型进行探讨分析，而数理统计方法在空间差异分析方面功能较弱[14]，不适用于如土地利用类型、土壤类型等类型数据分析。

本文在“3S”技术的支持下，以西昌市2010年和2015年的Landsat系列遥感影像为基础数据，采用监督分类中的最大似然法，结合Google Earth高分辨率影像[29]和GPS野外实地采样数据分别获取2010年和2015年的西昌市土地利用分类信息；然后，采用大气校正法进行地表温度反演，获取西昌市

① **收稿日期：** 2019-05-20； **修订日期：** 2019-11-19
基金项目： 国家自然科学基金面上项目(41371125)；教育部人文社科规划基金项目(17YJA850007)资助
作者简介： 罗瑶(1992-)，女，四川省冕宁县人，硕士研究生，研究方向为城市土地管理与房地产开发. E-mail：842276272@qq.com
通讯作者： 彭文甫，男，副教授，研究方向为环境遥感. E-mail：pwfzh@126.com

2010 年和 2015 年的地表温度的空间分布数据；最后，基于地理探测器，选取坡度、总辐射、坡向、海拔、年均降水量、年均气温、植被类型、土壤类型以及土地利用类型 9 个影响因子，对西昌市地表温度空间格局的影响因子进行地理探测分析，以期为西昌市农业生产、城市热岛和环境监测等方面提供理论依据。

1 研究区概况

西昌市介于 101°55′ ~ 102°22′ E，27°36′ ~ 27°59′ N，地处四川省第二大平原——安宁河平原腹地，不仅是凉山彝族自治州的州府，也是攀西地区的政治、经济、文化及交通中心，还是川滇结合区域的重要城市。全市幅员面积约为 2 655 km^2，东与喜德、昭觉、普格相邻，西邻雅砻江并与盐源县隔江相望，南与德昌县接壤，北与冕宁县相连（图 1）。

西昌市境内海拔在 1 184 ~ 4 152 m 之间，地势起伏较大，地形以河谷平原和中山为主，分别占全市总面积的 16.4%、78.9%。安宁河西侧分布有自北向南贯穿全境的牦牛山，其面积占全市总面积的一半，为安宁河和雅砻江的分水岭。四川省第二大淡水湖——邛海位于市区东南，湖西面与由北向南贯穿西昌市的安宁河相通；湖盆平原分布于市区北部与城区之间，此区域地势平坦，土壤肥沃，是粮食、蔬菜以及其他经济作物的主产区。

西昌属热带高原季风气候，气候垂直分异明显。全年日照充足，年均气温在 17.5 切℃左右，且雨量充沛、降雨集中，年均降水量约 1 000 mm，故有“小春城”之称。此外，西昌白天太阳辐射强，昼夜温差大，气候垂直分异明显，有着“山顶寒冷，山腰温和，河谷干热”的立体气候特点。

2 研究方法与数据来源

2.1 数据来源及处理

2.1.1 *数据来源* 遥感影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台（http://www.gscloud.cn），土地利用类型数据（X_9）由遥感影像数据经监督分类处理后获得；数字高程模型数据（X_4）、土壤类型（X_8）、总辐射数据（X_2）、植被类型数据（X_7）均来源于中国科学院资源环境科

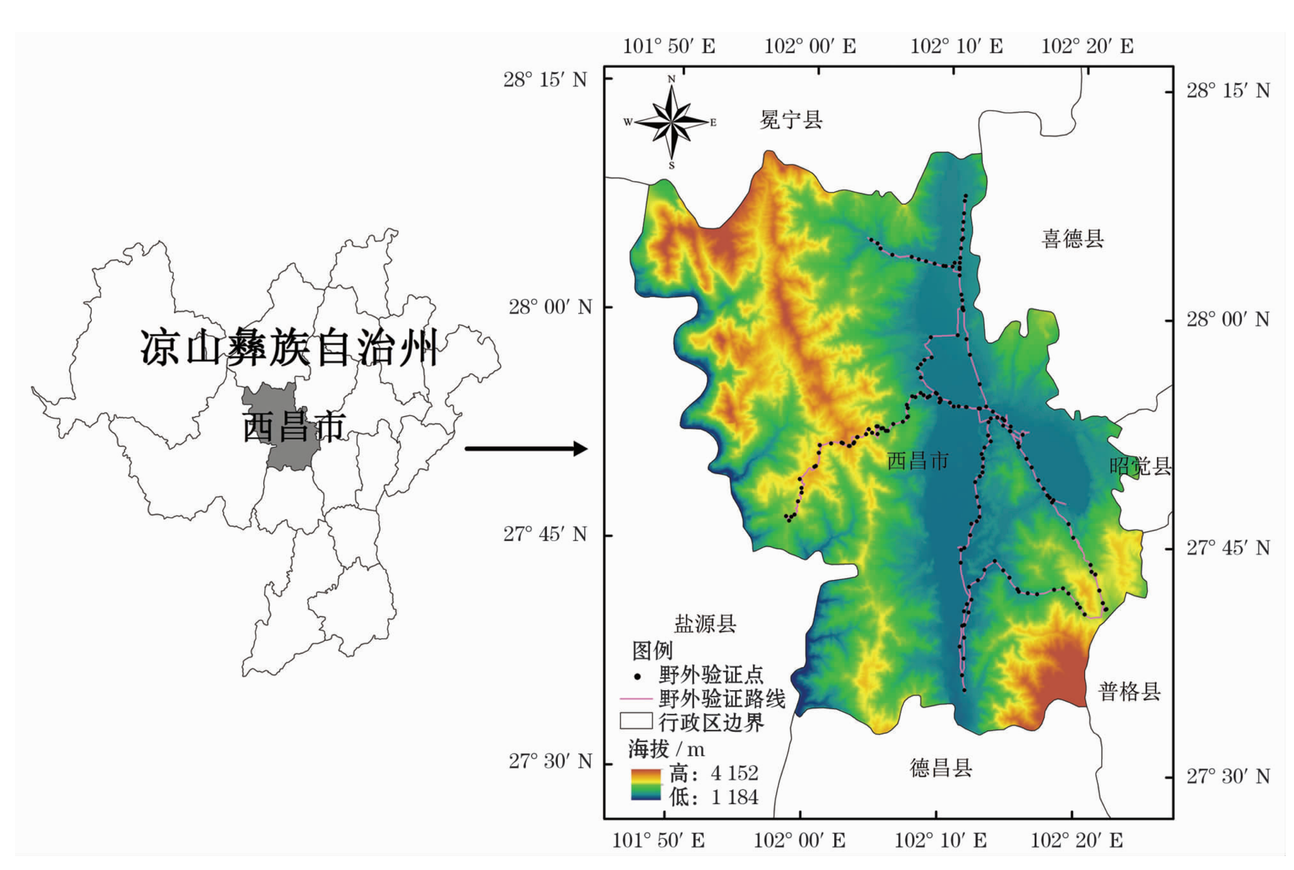


图 1 西昌市地理位置

Fig. 1 The geographical location of Xichang

学数据中心(http://www.resdc.cn),坡度(X_1)、坡向(X_3)数据均由数字高程模型数据经重采样获取;西昌市矢量边界数据来源于四川师范大学西南土地资源与评价教育部重点实验室;气象栅格数据(年均降水量 X_5、年均气温 X_6)来源于 CERN 生态综合数据库及共享平台。

2.1.2　预处理

(1) 辐射校正。本文借助 ENVI 5.3 软件的 Radiometric Correction 下的 Radiometric Calibration 工具分别对 Landsat TM5 遥感影像的多光谱波段(波段 1－5)和热红外波段(波段 6)以及 Landsat 8OLI_TRIS 遥感影像的多光谱波段(波段 1－7)和热红外波段(波段 10)进行辐射定标,以此消除因传感器自身特征、地形、大气等所引起的辐射误差,去除影像上的噪音。

(2) 地形校正。为了让影像能更好地反映地物的光谱特征[30],本文利用 ENVI 5.3 软件的地形校正扩展工具－Topographic Correction 工具对辐射定标后的遥感影像进行地形校正处理,并以西昌市的矢量边界为感兴趣区(ROI),通过 Subset Data from ROIs 工具对影像进行了裁剪。

2.2　研究方法

2.2.1　大气校正法　目前,国内外学者根据不同热红外遥感数据自身特点,提出 3 类地表温度反演算法:单通道算法、多通道算法和劈窗算法[31],其中大气校正法又属于单通道算法中的一种。大气校正法也称辐射传输方程法,该方法主要根据卫星上遥感器所观测到的热辐射强度的构成来反演地表温度[32]。它是地表温度反演理论的基础,适用于所有传感器的热红外遥感数据[33]。本文采用大气校正法来进行地表温度反演,其反演流程主要包括了辐射校正(数据预处理中已经完成)、植被覆盖度计算、地表比辐射率计算[32]、黑体辐射亮度计算以及地表温度计算 5 个部分。

(1) 植被覆盖度 (P_v)计算公式如下:

$$P_v = \frac{(NDVI - NDVI_s)}{(NDVI_v - NDVI_s)} \tag{1}$$

式中: $NDVI$ 为归一化植被指数;$NDVI_s$ 为完全被裸土或无植被覆盖区域的 $NDVI$ 值;$NDVI_v$ 为纯植被像元的 $NDVI$ 值。

(2) 地表比辐射率计算

为了得到较为准确的地表比辐射率,本文使用覃志豪等[32]提出的先将地表分为了水体、自然表面和城镇区,在分别对 3 种地表类型来计算地表比辐射率(ε):

水体像元比辐射率:

$$\varepsilon_1 = 0.995 \tag{2}$$

自然表面像元比辐射率:

$$\varepsilon_2 = 0.9625 + 0.0614P_v - 0.0461P_v^2 \tag{3}$$

城镇区像元比辐射率:

$$\varepsilon_3 = 0.9589 + 0.086P_v - 0.0671P_v^2 \tag{4}$$

式中: P_v 植被覆盖度;ε_1、ε_2 和 ε_3 分别为水体、自然表面和城镇区的地表比辐射率。

(3) 黑体辐射亮度 计算公式如下:

$$B(T_s) = \frac{I - L\uparrow - \tau \times (1 - \varepsilon) \times L\downarrow}{\tau \times \varepsilon} \tag{5}$$

式中:$B(T_s)$为黑体辐射亮度; I 为热辐射强度(W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1}),可根据热红外波段的 DN 值计算,为已知值[3];$L\uparrow$ 和 $L\downarrow$ 分别为大气的上行和下行热辐射强度(W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1});τ 为大气在热红外波段的透过率。

在 NASA 的网站(http://atmcorr.gsfc.nasa.gov)中分别输入两期影像的成影时间和中心经纬度,以及其他相应的参数,分别得到 2010 年、2015 年大气剖面信息为:大气在热红外波段的透过率 τ:0.90、0.93;大气向上辐射亮度 $L\uparrow$:0.60 W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1}、0.45 W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1};大气向下辐射亮辐射亮度 $L\downarrow$:1.00 W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1}、0.78 W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1}。

(4) 地表温度计算

根据普朗克定律将辐射强度值转换为相应的亮度温度,并用摄氏温(℃)度表示:

$$T = \frac{K_2}{\ln[1 + K_1/B(T_s)]} - 273 \tag{6}$$

式中:T 为地表温度(℃);$B(T_s)$为黑体辐射亮度;Landsat8 OLI_TIRS 遥感影像中 K_1 = 774.8853 W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1},K_2 = 1321.0789 K;对于 TM 遥感影像 K_1 = 607.76 W·m^{-2}·sr^{-1}·μm^{-1},K_2 = 1260.56 K,为已知量。

2.2.2　土地利用信息提取　在 ENVI 5.3 和 ArcGIS 10.3 软件的支持下,本文选取 2010 年 2 月 14

日和2015年2月12日,数据条带号为130/41,成像时间均在中午的质量较好,云量较低,易于辨别各类地物,空间分辨率为30 m×30 m的Landsat系列遥感影像数据为基础数据(表1)。采用监督分类中的最大似然法,对2010年和2015年西昌市遥感数据进行解译,后又结合Google Earth高分辨率影像[21]和GPS野外实地采样数据对分类后结果中错分、漏分以及云雾区域的土地利用类型进行人工手动修改和精度评价,得到最终的土地利用数据。

表1　遥感影像数据信息表

Tab.1　Remote sensing image data information table

轨道号	卫星	获取日期	获取时间
130/041	Landsat5 TM	2010/2/14	11:31:29
	Landsat8OLI_TRIS	2015/2/12	11:40:27

(1)本文采用中国科学院土地资源分类系统,考虑影像解译能力并结合研究区实际情况,将土地利用类型分为6类,包括耕地、林地、草地、建设用地、水体以及未利用地。分类依据如表2所示。

表2　土地利用类型分类依据

Tab.2　Basis for classification of land use types

土地利用类型	林地	耕地	草地	建设用地	水体	未利用地
分类描述	林地	水田	高山草甸	城镇及农村居民点	河流	河滩地
	园林	旱地	人工草坪	工矿用地	湖泊	裸地
	灌木林			道路用地	水库等	

(2)本文共选取了174个验证点,对土地利用类型结果进行精度评价,并以*Kappa*系数和总体分类精度为主要依据来表达最终的分类精度。而此研究的分类结果的*Kappa*系数在0.80以上,总体分类精度大于90%(表3),均满足分类要求,分类结果可作为研究的基础数据。

表3　精度评价表

Tab.3　Precision evaluation table

年份	总体分类精度/%	*Kappa*系数
2010年	91.256 3	0.881 5
2015年	90.445 2	0.835 4

2.2.3　地理探测器　本文采用2010年由王劲峰等[19]提出的地理探测模型进行地表温度影响因子相关分析。地理探测器包括了4个探测器:因子探测、交互作用探测、风险区探测和生态探测4个部分[16]。

(1)因子探测。探测地表温度(Y)的空间分异性,以及探测影响因子(X)在多大程度上解释了地表温度(Y)的空间分异。用q值度量,其计算模型为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \qquad (6)$$

式中:q为影响因子(X)对地表温度(Y)的解释力。q的值域为[0,1],值越大说明Y的空间分异性越明显;$h=1,2,\cdots,L$为变量Y或因子X的分层,即分类或分区;N_h和N分别为层h和全区的单元数;N和σ^2分别是总样本的数量和全区的Y值的方差,σ_h^2和σ^2分别是层h和全区的Y值的方差;SSW和SST分别为层内方差之和和全区总方差。

(2)交互作用探测。识别不同影响因子之间的交互作用,通过比较单因子作用时两个因子的$q(X_1)$和$q(X_2)$值之和与双因子交互作用时的$q(X_1 \cap X_2)$值,来判断两个因子的交互作用是增加了对地表温度的影响还是减弱了对地表温度影响,或者两个因子是独立起作用的。

其计算方法是先分别计算2种自然因子(X_1、X_2)对地表温度(Y)的q值,即$q(X_1)$和$q(X_2)$;然后在计算这2种自然因子交互作用时的q值,即$q(X_1 \cap X_2)$;最后将$q(X_1)$和$q(X_2)$之和与$q(X_1 \cap X_2)$进行比较,以此来判断2种因子之间的关系。

(3)风险区探测。用于判断两个子区域间的属性均值是否有显著的差别,均值显著性大的子区域,地表温度值越高,可用于搜索地表温度的高温区范围。用t统计量来检验:

$$t = \frac{\bar{Y}_{h=1} - \bar{Y}_{h=2}}{\left[\frac{Var(\bar{Y}_{h=1})}{n_{h=1}} + \frac{Var(\bar{Y}_{h=2})}{n_{h=2}}\right]} \qquad (7)$$

式中:$\bar{Y}_h$表示子区域h内的地表温度属性均值;n_h为子区域h内样本数量;Var表示方差。

(4)生态探测。比较影响因子在影响地表温度空间分布上在不同子区域内总方差的差异。如比较影响因子X_1和X_2在各自不同子区域内总方差的差异,可判断是否X_1和X_2对地表温度空间分布具有更重要的影响力,以F统计量来衡量:

$$F = \frac{N_{x1}(N_{x2}-1)SSW_{x1}}{N_{x2}(N_{x1}-1)SSW_{x2}} \quad (8)$$

$$SSW_{x1} = \sum_{h=1}^{L_1} N_h \sigma_h^2 \quad (9)$$

$$SSW_{x2} = \sum_{h=1}^{L_2} N_h \sigma_h^2 \quad (10)$$

式中:N_{x1}和N_{x2}分别表示2种因子X_1和X_2的样本量;SSW_{x1}和SSW_{x2}分别表示由X_1和X_2形成的分层的层内方差之和;L_1和L_2分别表示变量X_1和X_2分层数目。其中零假设$H_0: SSW_{x1} = SSW_{x2}$。如果在σ的显著性水平上拒绝H_0,这表明两种因子X_1和X_2对地表温度(Y)的空间分布的影响存在着显著的差异。

3　结果与分析

3.1　土地利用类型空间格局特征

利用ENVI 5.3软件,采用监督分类中的最大似然法分类得到西昌市2010年和2015年土地利用结果,如图2所示。

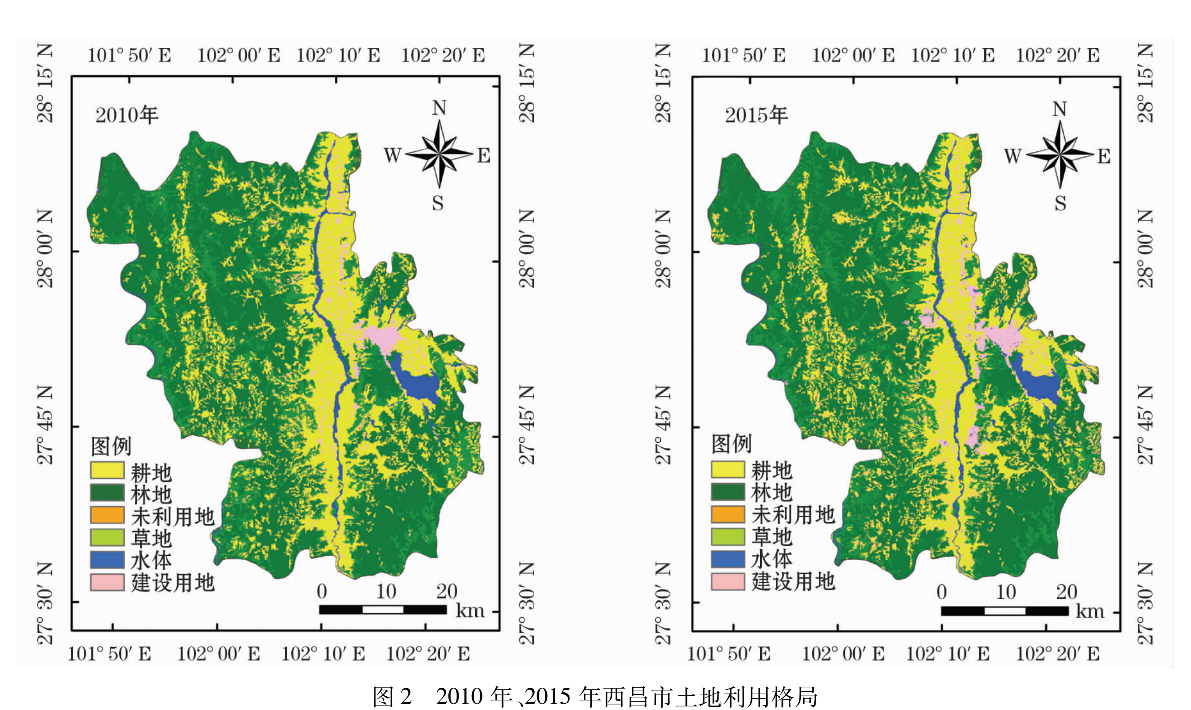


图2　2010年、2015年西昌市土地利用格局

Fig. 2　Land use pattern of Xichang in 2010 and 2015

从图2可见,西北和东南地区,海拔较高,土地利用类型以林地为主,草地次之,河谷平原地区则以耕地、建设用地和水体为主。西北到中部平原地区,海拔逐渐降低,土地利用类型明显有从林地、草地、耕地、建设用地过度的趋势。随着人口增长、城市建设需求、产业结构调整以及工矿企业发展等原因,2010—2015年西昌市各土地利用状况发生变化,利用ArcGIS 10.3对土地利用数据进行面积统计。具体情况,如表4所示。

表4中可见,西昌市的土地利用以林地、耕地和草地为主。2010—2015年,西昌市的耕地面积大量减少,建设用地、草地、林地和未利用地的面积增加,水体面积略有增加,但整体变化不大。近些年,由于城市建设发展,生态建设发展以及退耕还林政策的有效实施,致使耕地大量减少,建设用地、草地和林地的增加。其中耕地减少7 072.35 hm^2,建设用地增加3 379.61 hm^2。实地考察发现,山地周边的土地利用类型随着海拔升高,由草地过渡至林地,海拔较低的区域,阴坡植被的生长情况比阳坡的较好。

表4　土地利用类型面积统计表

Tab. 4　Statistical tables of land use type area

土地利用类型	2010年		2015年		2010—2015年变化量 / hm^2
	面积 / hm^2	比例 / %	面积 / hm^2	比例 / %	
耕地	78 006.18	29.38	70 933.82	27.47	−7 072.35
林地	122 912.05	46.29	123 795.75	46.62	883.70
未利用地	2 606.81	0.98	2 829.04	1.07	222.22
草地	49 946.46	18.81	52 524.69	19.03	2 578.23
水体	6 783.82	2.56	6 792.40	2.56	8.58
建设用地	5 244.68	1.98	8 624.29	3.25	3 379.61

河谷平原以建设用地、耕地、水体为主,分类结果与实际情况相符。

3.2 地表温度空间格局特征

利用ENVI 5.3软件,采用大气校正法反演得到西昌市2010年和2015年地表温度结果,如图3所示。

图3中可见,2010年,西北、西南以及东南地区,海拔较高,其中大部分区域海拔处于2 000 ~ 3 000 m之间,少数地区海拔高达4 000 m以上,土地利用类型以林地为主,植被覆盖较好。这些区域温度大多在0 ~ 25 ℃之间,极少数地区由于存在终年积雪,温度在0 ℃下。西北地区,由于遥感影像存在云雾遮挡影响,地表温度反演结果出现异常低值区,温度达 -10 ℃,面积约占0.98%;中东部以及沿河谷平原地区,海拔较低,植被较少,受人类活动影响较强,土地利用类型以耕地和建设用地为主,大部分区域温度在15 ~ 25 ℃之间,其余地区温度主要在25 ~ 35 ℃之间;在研究区内出现了地表温度高值区,该区内温度大于35 ℃,甚至有1处温度高达38.55 ℃。

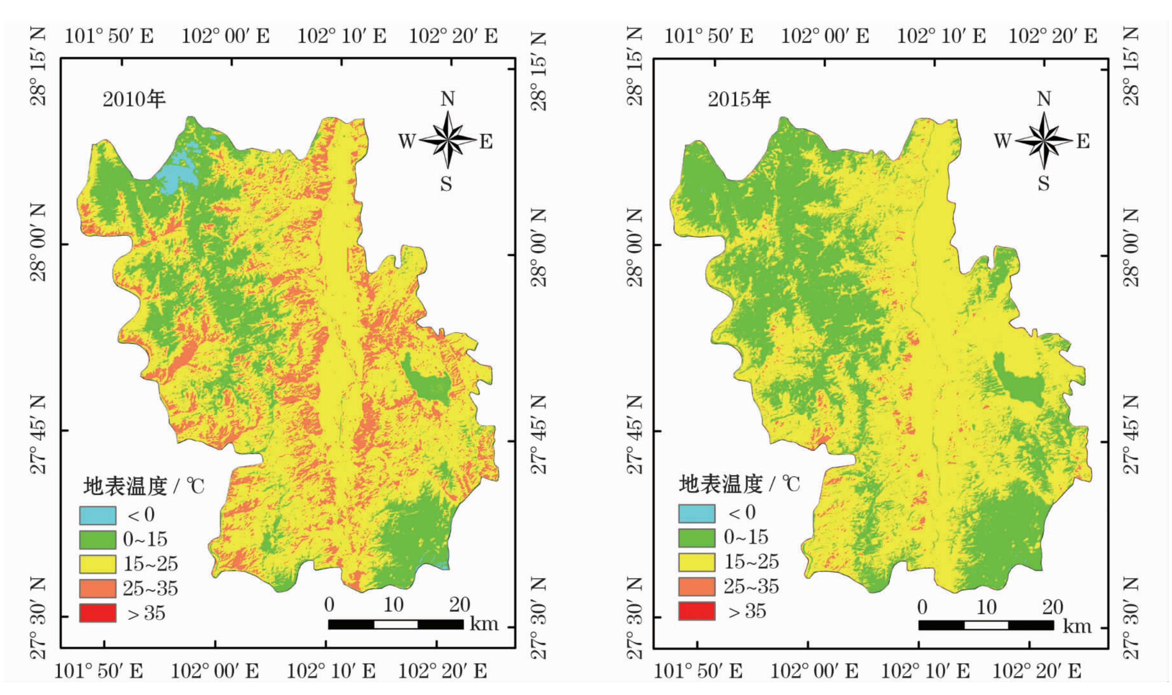


图3 2010年、2015年西昌市地表温度

Fig. 3 Surface temperature of Xichang in 2010 and 2015

图3所示,2015年的地表温度总体分布趋势与2010年一致,但由于工业集中发展、生态建设的发展和节能减排政策的实施,2015年的高温区域范围明显少于2010年的。2010年地表温度的大半部分区域温度在0 ~ 35 ℃,面积约占82.18%,而2015年的大半部分区域温度在0 ~ 25 ℃,面积约占98.09%;西北、西南以及东南海拔较高,植被覆盖较好的区域出现温度低于0 ℃的地表温度低值区,面积约占0.02%。在终年积雪存在的区域,甚至达到了 -3.72 ℃;沿河谷平原地区,大部分区域温度在15 ~ 25 ℃之间,其余地区温度主要在25 ~ 35 ℃之间。

随着城市化进程的加快,城镇基础设施、住宅建设的需求不断扩大,加速工业经济的发展,促使西昌市耕地快速减少,建设用地不断增加,而产业结构调整,又使得工业集中连片发展,形成工业发展集中区。2015年,在研究区内出现了3处地表温度高值区,高值区内温度大于35 ℃,甚至有1处温度高达35.55 ℃。对实地进行GPS定位和周围环境特征等信息采集后发现,高温异常区域均位于河谷平原,有工业生产的建设用地集中区域。2010年、2015年西昌市地表温度面积情况如表5所示。

3.3 地理探测器分析结果

在ArcGIS 10.3中,先将9种影响因子进行不同空间类别分区或分类,然后再将不同空间类别分区或分类后的影响因子数据导入地理探测器中进行探测分析。其中,Y为地表温度,X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7、X_8、X_9分别为土地利用类型、海拔、坡向、坡

表 5　各区间范围地表温度面积占研究区面积情况

Tab. 5　Surface temperature area in each interval range as a proportion of the study area

年份	地表温度面积比 / %				
	<0 ℃	0 ~ 15 ℃	15 ~ 25 ℃	25 ~ 35 ℃	>35 ℃
2010 年	0.976 9	20.966 3	61.218 3	16.815 7	0.022 8
2015 年	0.023 6	35.980 3	62.112 8	1.882 5	0.000 8

度、年均气温、年均降水量、植被类型、土壤类型、总辐射。

3.3.1　*影响因子对地表温度解释程度*　因子探测器既能探测西昌市地表温度(Y)的空间分异性,也能探测影响因子(X)在多大程度上解释地表温度空间分异性。首先,对地表温度的图层与影响因子的图层进行空间叠加分析;然后对各影响因子的不同空间类别分区或分类进行均值的显著性检验,探测出影响因子对地表温度的解释力(q 值)。计算出的 q 值越大表示自变量 X 对属性 Y 的解释力越强,反之则越弱,计算结果见表 6。

从表 6 中可以看出,2010 年、2015 年影响因子对地表温度影响程度大小的排序分别为:$X_2>X_5>X_8>X_1>X_4>X_6>X_7>X_3>X_9$;$X_2>X_5>X_1>X_8>X_6>X_7>X_4>X_3>X_9$。结果显示,海拔是影响西昌市地表温度空间分布的主要影响因子,年均气温影响次之。尽管植被类型、坡向和总辐射影响到地表温度的空间分布,但其单个因子解释力影响很小,不足 10%,对地表温度空间分布的影响较小。

3.3.2　*影响因子对地表温度的交互作用*　交互作用探测通过识别两类影响因子(自变量 X)之间的相互作用,分析其相互作用是否会增强或减弱对西昌市地表温度(因变量 Y)的解释力,或这些影响因子对地表温度的影响是相互独立的。交互作用探测结果显示两类影响因子对地表温度的影响是相互作用的。地表温度是多种因素共同作用的结果,不存在单一因素或是单一性质的因素影响地表温度。通过对影响因子交互探测的结果分析研究发现,因子间主要是相互增强和非线性增强,不存在独立起作用的因子(表 7、表 8)。

以 2010 年(表 7)为例分析可知:土地利用类型与海拔、坡度、年均气温相叠加,海拔与坡向、坡度、年均气温、年均降水量、植被类型、土壤类型、总辐射相叠加,坡向与坡度、土壤类型相叠加,坡度与年均气温、总辐射相叠加,年均气温与年均降水量、植被类型、土壤类型、总辐射相叠加时,对地表温度的交互作用均是相互增强的;土地利用类型与坡向、年均降水量、植被类型、土壤类型、总辐射相叠加,海拔与总辐射相叠加,坡向与年均气温、年均降水量、植被类型、总辐射相叠加,坡度与年均降水量、植被类型、土壤类型相叠加,年均气温与植被类型、土壤类型相叠加以及植被类型、土壤类型、总辐射与其余的因子两两叠加,对地表温度的交互作用均是非线性增强的。

两因子交互作用,对地表温度的解释力大小具有差异,如土地利用类型与任意因子交互作用结果:$X_1\cap X_2$(0.667 2) > $X_1\cap X_5$(0.641 1) > $X_1\cap X_8$(0.514 2) > $X_1\cap X_4$(0.320 9) > $X_1\cap X_6$(0.314 0) > $X_1\cap X_7$(0.306 9) > $X_1\cap X_3$(0.296 9) > $X_1\cap X_9$(0.260 1)。

由表 8 可知,2010 年和 2015 年中除土地利用类型与土壤类型、海拔与坡向、海拔与总辐射、坡向与坡度、坡向与土壤类型、坡度与总辐射、年均气温与年均降水量以及年均气温与总辐射的交互作用结果不同外,其余的任意两个因子的交互作用结果在两个时期是相同的。

3.3.3　*影响因子对地表温度影响的显著性差异*　生态探测器揭示了影响因子对地表温度的影响是否显著差异。2015 年探测结果见表 9。表中给出了每两类影响因子之间的统计学差异显著的结果,如行因子与列因子有显著性差异,则标记为“Y”,否则标记为“N”。

表 9 中结果显示,2010 年,土地利用类型与海拔、土壤类型、年均气温,坡向与海拔、年均气温、土壤类型对地表温度的空间分布的影响具有显著的差

表 6　地表温度空间分布的影响因子 q 值

Tab. 6　q value of the influencing factors of the surface temperature spatial distribution

年份	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2010 年	0.201 7	0.572 3	0.063 0	0.160 9	0.529 0	0.111 0	0.094 5	0.321 2	0.047 6
2015 年	0.294 6	0.437 2	0.034 3	0.082 5	0.407 5	0.102 7	0.099 1	0.222 6	0.015 6

注:X_1 为土地利用类型;X_2 为海拔;X_3 为坡向;X_4 为坡度;X_5 为年均气温;X_6 年均降水量为;X_7 为植被类型;X_8 为土壤类型;X_9 为总辐射

表 7　2010 年影响因子之间的交互作用

Tab. 7　Interaction between influencing factors in 2010

$C=A\cap B$	$A+B$	比较	解释	$C=A\cap B$	$A+B$	比较	解释
$X_1\cap X_2$ = 0. 667 2	0. 774 0	$C>A,BC<A+B$	互相增强	$X_1\cap X_3$ = 0. 296 9	0. 264 7	$C>A+B$	非线性增强
$X_1\cap X_4$ = 0. 320 9	0. 362 6			$X_1\cap X_6$ = 0. 314 0	0. 312 7		
$X_1\cap X_5$ = 0. 641 1	0. 730 7			$X_1\cap X_7$ = 0. 306 9	0. 296 2		
$X_1\cap X_8$ = 0. 514 2	0. 522 9			$X_1\cap X_9$ = 0. 260 1	0. 249 3		
$X_2\cap X_3$ = 0. 624 3	0. 635 3			$X_3\cap X_5$ = 0. 594 7	0. 592 0		
$X_2\cap X_4$ = 0. 614 2	0. 733 2			$X_3\cap X_6$ = 0. 286 7	0. 174 0	$C>A+B$	非线性增强
$X_2\cap X_5$ = 0. 593 4	1. 101 3			$X_3\cap X_7$ = 0. 243 4	0. 157 5		
$X_2\cap X_6$ = 0. 607 0	0. 683 3			$X_3\cap X_9$ = 0. 170 0	0. 110 6		
$X_2\cap X_7$ = 0. 612 0	0. 666 8			$X_4\cap X_6$ = 0. 308 7	0. 271 9		
$X_2\cap X_8$ = 0. 634 9	0. 893 5			$X_4\cap X_7$ = 0. 322 9	0. 255 4		
$X_2\cap X_9$ = 0. 600 0	0. 619 9			$X_4\cap X_8$ = 0. 562 2	0. 482 1		
$X_3\cap X_4$ = 0. 276 7	0. 223 9			$X_6\cap X_7$ = 0. 303 2	0. 205 5		
$X_3\cap X_8$ = 0. 536 2	0. 384 2	$C>A,BC<A+B$	互相增强	$X_6\cap X_8$ = 0. 545 5	0. 432 2		
$X_4\cap X_5$ = 0. 594 5	0. 689 9			$X_6\cap X_9$ = 0. 256 1	0. 158 6		
$X_4\cap X_9$ = 0. 201 0	0. 208 5			$X_7\cap X_8$ = 0. 538 0	0. 415 7		
$X_5\cap X_6$ = 0. 552 4	0. 640 0			$X_7\cap X_9$ = 0. 216 9	0. 142 1		
$X_5\cap X_7$ = 0. 577 7	0. 623 5			$X_8\cap X_9$ = 0. 447 1	0. 368 8		
$X_5\cap X_8$ = 0. 598 9	0. 850 2						
$X_5\cap X_9$ = 0. 558 7	0. 576 6						

表 8　2015 年影响因子之间的交互作用

Tab. 8　Interaction between influencing factors in 2015

$C=A\cap B$	$A+B$	比较	解释	$C=A\cap B$	$A+B$	比较	解释
$X_1\cap X_2$ = 0. 600 8	0. 731 8	$C>A,BC<A+B$	互相增强	$X_3\cap X_4$ = 0. 234 2	0. 116 8	$C>A+B$	非线性增强
$X_1\cap X_4$ = 0. 376 1	0. 377 1			$X_3\cap X_5$ = 0. 532 9	0. 441 8		
$X_1\cap X_5$ = 0. 587 5	0. 702 1			$X_3\cap X_6$ = 0. 214 2	0. 137 0		
$X_2\cap X_4$ = 0. 487 1	0. 519 7			$X_3\cap X_7$ = 0. 252 2	0. 133 4		
$X_2\cap X_5$ = 0. 489 7	0. 844 7			$X_3\cap X_8$ = 0. 396 2	0. 256 9		
$X_2\cap X_6$ = 0. 508 9	0. 539 9			$X_3\cap X_9$ = 0. 137 9	0. 049 9		
$X_2\cap X_7$ = 0. 527 5	0. 536 3			$X_4\cap X_6$ = 0. 217 5	0. 185 2		
$X_2\cap X_8$ = 0. 491 1	0. 659 8			$X_4\cap X_7$ = 0. 220 7	0. 181 6		
$X_4\cap X_5$ = 0. 446 4	0. 490 0			$X_4\cap X_8$ = 0. 364 3	0. 305 1		
$X_5\cap X_7$ = 0. 488 2	0. 506 6			$X_4\cap X_9$ = 0. 174 2	0. 098 1		
$X_5\cap X_8$ = 0. 502 3	0. 630 1			$X_5\cap X_6$ = 0. 512 0	0. 510 2		
$X_1\cap X_3$ = 0. 454 5	0. 328 9	$C>A+B$	非线性增强	$X_5\cap X_9$ = 0. 464 7	0. 423 1		
$X_1\cap X_6$ = 0. 440 8	0. 397 3			$X_6\cap X_7$ = 0. 298 5	0. 201 8		
$X_1\cap X_7$ = 0. 438 3	0. 393 7			$X_6\cap X_8$ = 0. 386 2	0. 325 3		
$X_1\cap X_8$ = 0. 551 5	0. 517 2			$X_6\cap X_9$ = 0. 201 2	0. 118 3		
$X_1\cap X_9$ = 0. 369 7	0. 310 2			$X_7\cap X_8$ = 0. 398 5	0. 321 7		
$X_2\cap X_3$ = 0. 545 0	0. 471 5			$X_7\cap X_9$ = 0. 178 9	0. 114 7		
$X_2\cap X_9$ = 0. 484 1	0. 452 8			$X_8\cap X_9$ = 0. 307 3	0. 238 2		

表 9　2010 年各影响因子对地表温度的显著差异性

Tab. 9　Significant difference of influence factors on the land surface temperature in 2010

	X_1	X_3	X_2	X_8	X_9	X_7	X_4	X_5	X_6
X_1									
X_3	N								
X_2	Y	Y							
X_8	Y	Y	N						
X_9	N	N	N	N					
X_7	N	N	N	N	N				
X_4	N	N	N	N	N	N			
X_5	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y		
X_6	N	N	N	N	N	N	N	N	

注：Y 表示 2 类因子对地表温度的影响具有显著性差异（置信度为 95%）；N 表示无显著性差异

异性;年均气温除与海拔对对地表温度的空间分布均无显著影响外,与其余 6 个因子对地表温度的空间分布的影响具有显著的差异性。此外,其余的因子两两叠加对地表温度的空间分布均无显著影响。2015 年,除了土地利用类型和土壤类型,坡度与海拔、土壤类型,年均气温与植被类型、总辐射的探测结果与 2010 年有所差异外,其余的任意影响因子两两组合的探测结果与 2010 年相同。

3.3.4　地表温度均值最大时的影响因子的范围或类型　通过地理探测器方法,分析了地表温度值最大时,影响因子相对应的范围或类型,并且在 95% 置信水平上通过了统计意义检验,结果表明不同影响因子的地表温度均值差异明显(表 10)。

表 10　地表温度值最大时影响因子的类型或范围

Tab. 10　Type or range of the influence factors at maximum the surface temperature

影响因子	类型或范围		地表温度最大值 / ℃	
	2010 年	2015 年	2010 年	2015 年
总辐射 / MJ·m^{-2}	5 091 ~5 199	5 091 ~5 199	23.770 7	18.219 5
海拔 / m	1 184 ~2 000	1 184 ~2 000	23.312 5	18.880 9
年均降水量 / mm	1 006 ~1 023	1 006 ~1 023	21.500 2	17.506 4
年均气温 / ℃	14 ~17	14 ~17	23.746 5	19.770 3
土壤类型	铁铝土	铁铝土	23.429 3	18.968 0
土地利用类型	建设用地	建设用地	23.817 5	18.947 3
坡向	东南	西	21.629 9	17.422 9
坡度 / °	0 ~5	5 ~15	22.347 8	18.095 2
植被类型	栽培植被	高山植被	22.152 3	19.240 3

表 10 中显示,地表温度值最大时,影响因子对应的类型或范围是相同的,并且随着影响因子的变化,地表温度呈现一定的规律或波动变化。

总辐射范围为 5 091 ~5 199 MJ · m^{-2}时,地表温度值为最高,两期的地表温度分别为23.770 7 ℃、18.219 5 ℃,而后随着总辐射的不断增加,地表温度值逐渐降低。

2010 年,地表温度随海拔的增加呈现了先降低后增加的趋势,海拔范围在 2 500 m 以下时,地表温度值均超过 20 ℃,而 2015 年地表温度随海拔的增加呈现不断降低的趋势;当海拔范围在 1 184 ~2 000 m 时,地表温度达最高,2010 年和 2015 年的值分别为 23.312 5 ℃、18.880 9 ℃;此后,2010 年的地表温度随着海拔的增加,地表温度快速降低,当海拔达到 3 500 m 以上时,温度由 10 ℃升高为 13 ℃,而 2015 年的地表温度随着海拔的增加,地表温度快速降低,当海拔达到 3 500 m 以上时,地表温度均值最低,为 8.683 5 ℃。随着年均降水量的不断增加,地表温度呈现了先增加后降低的趋势,并在年均降水范围为 1 006 ~1 023 mm 时,地表温度达到最高,2010 年和 2015 年分别为 21.500 2 ℃、17.506 4 ℃;地表温度值随着年均气温不断增加而增加,当年平均气温在 14 ~17 ℃范围时,地表温度值达最高,2010 年和 2015 年分别为 23.746 5 ℃、19.770 4 ℃。

土壤类型和土地利用类型不同时,地表温度值也不同且呈波动变化。土壤类型为初育土、人为土和铁铝土时,2010 年、2015 年地表温度值均超过了 17 ℃,当土壤类型为铁铝土时,地表温度达最大,分别为 23.429 3 ℃、18.968 0 ℃。土地利用类型为耕地、草地和建设用地时,2010 年和 2015 年的地表温度值均超过了 18 ℃,并且当土地利用类型为建设用地时,地表温度达到最高,分别为 23.817 5 ℃、18.947 3 ℃。

地表温度达最大时,影响因子对应的类型或范围不同,并且随着影响因子的变化,地表温度呈现一定的规律或波动变化。

2015 年地表温度随坡向变化而变化的趋势与 2010 年的相同,即坡向不同,地表温度值随之变化。2010 年,坡度范围在 0 ~15°时,地表温度值超过了 22 ℃,在坡度范围为 5°以下时,地表温度值最高,为 22.347 8 ℃,而后随着坡度的不断增大,地表温度值逐渐降低。2015 年,坡度范围在 0 ~15°时,地表温度值超过了 17 ℃,在坡度范围为 5 ~15°时,地表温度值最高,为 18.095 2 ℃,而后随着坡度的不断增大,地表温度值逐渐降低。

植被类型不同时,地表温度值也不同且呈波动变化。2010 年,植被类型为阔叶林、荒漠、高山植被和栽培植被时,地表温度值均超过了 20 ℃;当植被类型为栽培植被时,地表温度达到最高,为 22.152 3 ℃。2015 年,植被类型为阔叶林、草丛、高山植被和栽培植被时,地表温度值均超过了 16 ℃;当植被类型为高山植被时,地表温度达到最高,为 19.240 3 ℃。

4　结 论

4.1　结论

本研究利用西昌市 2010 年和 2015 年的遥感影像,通过 ArcGIS 10.3、ENVI 5.3 等软件,采用大气校正的方法对西昌市 2010 年和 2015 年的地表温度

进行反演,在此基础上,利用监督分类中的最大似然法、Google Earth 高分辨率影像和野外实地采样结相合的方法,获取了西昌市 2010 年和 2015 年的土地利用信息,再借助地理探测器对西昌市地表温度的影响因子进行地理探测,得出以下结论:

(1) 西北和东南地区,海拔较高,植被覆盖较好,土地利用类型以林地和草地为主,沿河谷平原地区则以耕地、建设用地和水体为主。分类结果与相关学者的研究成果一致[13],据实地考察验证,分类结果与实际情况也大致相符。

(2) 反演结果与已有的研究成果大致相符[6]。地表温度空间分布差异明显,平原地区植被较少,海拔低,为建设用地集中分布区域,受人类活动影响大,温度明显比山区地区较高,在工厂分布、工业生产区域,甚至出现了温度高值区;而山区地区受海拔、植被、云雾遮挡等因素的影响,温度较平原地区低,出现了温度低值区。

(3) 影响因子对地表温度的影响存在差异,海拔是影响地表温度空间分布的主要因子,年均气温次之,而总辐射影响最小。

(4) 影响因子对地表温度的影响不是独立的,而是多种因子共同作用的结果。不同的影响因子之间存在交互作用,并且任意两种影响因子的作用值都大于任意一类影响因子单独作用的值,对地表温度的影响均为相互增强或非线性增强的。

(5) 部分影响因子对地表温度具有显著性差异影响,不同范围或类型的影响因子的地表温度均值有所差异,地表温度均值最大时对应影响因子不同的范围或类型。

5 讨 论

本文借助地理探测器定量分析坡度、总辐射、坡向、海拔、年均降水量、年均气温、植被类型、土壤类型以及土地利用类型 9 个影响因子对西昌市地表温度影响的解释程度。研究结果具有一定的参考意义,但本文存在着一些不足:

(1) 本文虽采用 Google Earth 高分辨率影像和野外实地采样数据对分类后的结果进行了手动修改和精度验证,数据精度已达本次研究需要,但分类结果可能仍存在与实际结果不符的情况。因此,在未来研究中,仍要提高数据精度,减少此类情况。

(2) 地表温度是多种因素影响的结果,但由于数据可获取性、研究水平等局限,本文影响因子选取可能并不全面。在今后研究过程中,应全面考虑相关影响因子,来构建较完整的因子指标体系进行分析探讨。

参考文献(References)

[1] 李召良,唐伯惠,唐荣林,等. 地表温度热红外遥感反演理论与方法[J]. 科学观察,2017,12(6):57 – 59. [LI Zhaoliang, TANG Bohui, TANG Ronglin, et al. Theory and method of thermal infrared remote sensing inversion of the surface temperature[J]. Science Focus, 2017, 12(6):57 – 59.]

[2] 孟鹏,胡勇,巩彩兰,等. 热红外遥感地表温度反演研究现状与发展趋势[J]. 遥感信息,2012,27(6):118 – 123,132. [MENG Peng, HU Yong, GONG Cailan, et al. Thermal iinfrared remote sensing of surface temperature inversion: Current status and future prospects[J]. Remote Sensing Information, 2012, 27(6):118 – 123,132.]

[3] 覃志豪,ZHANG Minghua,ARNON Karnieli,等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报,2001,56(4):456 – 466. [QIN Zhihao, ZHANG Minghua, ARNON Karnieli, et al. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM 6 data[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4):456 – 466.]

[4] WAN Z M, DOZIER J. A generalized split-window algorithm for retrieving land surface temperature from space[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34(4):892 – 905.

[5] 彭文甫,周介铭,罗怀良,等. 城市土地利用与地面热效应时空变化特征的关系——以成都市为例[J]. 自然资源学报,2011,26(10):1738 – 1749. [PENG Wenfu, ZHOU Jieming, LUO Huailiang, et al. Relationship between urban land use and spatio-temporal change characteristics of surface heat effect: A case study of Chengdu City[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(10):1738 – 1749.]

[6] 王娟,张优,张杰,等. 基于 TVDI 的山地平原过渡带土壤水分反演——以绵竹市为例[J]. 水土保持研究,2018,25(2):151 – 156,161. [WANG Juan, ZHANG You, ZHANG Jie, et al. Soil moisture inversion in transitional zone of mountain plain based on temperature vegetation drought index method: A case study of Mianzhu City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(2):151 – 156,161.]

[7] 张芳. 基于 MODIS 的陕西省干旱遥感监测研究[D]. 西安:陕西师范大学,2008. [ZHANG Fang. Remote sensing monitoring of drought in Shaanxi Province based on MODIS[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2008.]

[8] 宁吉才. 基于遥感的地表温度对土地利用变化及咸水入侵的响应[D]. 济南:山东师范大学,2008. [NING Jicai. Retrieval of land surface temperature and its response to LUCC and salt water intrusion[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2008.]

[9] 覃志豪,高懋芳,秦晓敏,等. 农业旱灾监测中的地表温度遥感

反演方法——以 MODIS 数据为例[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):64-71. [QIN Zhihao,GAO Maofang,QIN Xiaomin,et al. Methodology to retrieve land surface temperature from MODIS data for agricultural drought monitoring in China[J]. Journal of Natural Disasters,2005,14(4):64-71.]

[10] LIANG X Y,LI Y B. Spatiotemporal features of farmland scaling and the mechanisms that underlie these changes within the Three Gorges Reservoir Area[J]. Journal of Geographical Sciences,2019,29(4):563-580.

[11] ZHANG X X,WANG L,YIN L C,et al. Spatial-temporal variation analysis and risk determinants of hand,foot and mouth disease in Beijing-Tianjin-Tangshan[J]. Journal of Geo-information Science,2018,21(3):398-406.

[12] 张军,董洁,梁青芳,等. 宝鸡市区土壤重金属污染影响因子探测及其源解析[J]. 环境科学,2019,(8):1-14. [ZHANG Jun,DONG Jie,LIANG Qingfang,et al. Heavy metal pollution characteristics and influencing factors in Baoji urban soils[J]. Environmental Science,2019,(8):1-14.]

[13] 文路军,彭文甫,杨华容,等. 夏季川西高原地表温度的空间特征和影响因素——以西昌市大部分区域为例[J]. 国土资源遥感,2017,29(2):207-214. [WEN Lujun,PENG Wenfu,YANG Huarong,et al. An analysis of land surface temperature (LST) and its influencing factors in summer in western Sichuan Plateau: A case study of Xichang City[J]. Remote Sensing for Land & Resources,2017,29(2):207-214.]

[14] 孙常峰,孔繁花,尹海伟,等. 山区夏季地表温度的影响因素——以泰山为例[J]. 生态学报,2014,34(12):3396-3404. [SUN Changfeng,KONG Fanhua,YIN Haiwei,et al. Analysis of factors affecting mountainous land surface temperature in the summer: A case study over Mount Tai[J]. Acta Ecologica Sinica,2014,34(12):3396-3404.]

[15] 叶妍君,齐清文,姜莉莉,等. 基于地理探测器的黑龙江垦区农场粮食产量影响因素分析[J]. 地理研究,2018,37(1):171-182. [YE Yanjun,QI Qingwen,JIANG Lili. The analysis of influencing factors of the grain yield in Heilongjiang reclamation area based on the geographical detector[J]. Geographical Research,2018,37(1):171-182.]

[16] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134. [WANG Jinfeng,XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica,2017,72(1):116-134.]

[17] SHRESTHA Anil,LUO Wei. Analysis of groundwater nitrate contamination in the Central Valley: Comparison of the geodetector method,principal component analysis and geographically weighted regression[J]. International Journal of Geo-Information,2017,6(10):297.

[18] XU C,LI Y,WANG J,et al. Spatial-temporal detection of risk factors for bacillary dysentery in Beijing,Tianjin and Hebei,China[J]. Bmc Public Health,2017,17(1):743.

[19] WANG J F,LI X H,CHRISTAKOS G,et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region,China[J]. International Journal of Geographical Information Science,2010,24(1):107-127.

[20] WANG Jinfeng,LI Xinhui,CHRISTAKOS G,et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region,China[J]. International Journal of Geographical Information Science,2010,24(1):107-127.

[21] 梁鑫源,李阳兵. 三峡库区规模农地时空变化特征及其驱动机制[J]. 地理学报,2018,73(9):1630-1646. [LIANG Xinyuan,LI Yangbing. Spatio-temporal features of scaling farmland and its corresponding driving mechanism in Three Gorges Reservoir Area[J]. Acta Geographica Sinica,2018,73(9):1630-1646.]

[22] 李佳洺,陆大道,徐成东,等. 胡焕庸线两侧人口的空间分异性及其变化[J]. 地理学报,2017,72(1):148-160. [LI Jiaming,LU Dadao,XU Chengdong,et al. Spatial heterogeneity and its changes of population on the two sides of Hu Line[J]. Acta Geographica Sinica,2017,72(1):148-160.]

[23] 董玉祥,徐茜,杨忍,等. 基于地理探测器的中国陆地热带北界探讨[J]. 地理学报,2017,72(1): 135-147. [DONG Yuxiang,XU Qian,YANG Ren,et al. Delineation of the northern border of the tropical zone of China's mainland using geodetector[J]. Acta Geographica Sinica,2017,72(1): 135-147.]

[24] 丁悦,蔡建明,任周鹏,等. 基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素[J]. 地理科学进展,2014,33(5):657-666. [DING Yue,CAI Jianming,REN Zhoupeng,et al. Spatial disparities of economic growth rate of China's National-level ETDZs and their determinants based on geographical detector analysis[J]. Progress in Geography,2014,33(5):657-666.]

[25] WANG Huan,GAO Jiangbo,HOU Wenjuan. Quantitative attribution analysis of soil erosion in different geomorphological types in karst areas: Based on the geographical detector method[J]. Journal of Geographical Sciences,2019,29(2):271-286.

[26] 李雨,韩平,任东,等. 基于地理探测器的农田土壤重金属影响因子分析[J]. 中国农业科学,2017,50(21):4138-4148. [LI Yu,HAN Ping,REN Dong,et al. Influence factor analysis of farmland soil heavy metal based on the geographical detector[J]. Scientia Agricultura Sinica,2017,50(21):4138-4148.]

[27] 肖武,隋涛,王鑫,等. 巢湖流域典型农田土壤重金属污染评价与地理探测分析[J]. 农业机械学报,2018,49(7):144-152. [XIAO Wu,SUI Tao,WANG Xin,et al. Assessment and geographical detection of heavy metal pollution in typical farmland soil in Chaohu Lake Basin[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Machinery,2018,49(7):144-152.]

[28] 刘彦随,李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. 地理学报,2017,72(1):161-173. [LIU Yansui,LI Jintao. Geographic detection and optimizing decision of the differentiation mechanism of rural poverty in China[J]. Acta Geographica Sinica,2017,72(1):161-173.]

[29] 郭小英. 基于 Google Earth 影像的乡镇土地利用分类方法研究

[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2010. [GUO Xiaoying. Research on town and villiage land use classification methods based on google earth images[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2010.]

[30] 高永年，张万昌. 遥感影像地形校正研究进展及其比较实验[J]. 地理研究，2008，27(2)：467－477，484. [GAO Yongnian, ZHANG Wanchang. Comparison test and research progress of topographic correction on remotely sensed data[J]. Geographical Research, 2008, 27(2): 467－477, 484.]

[31] 朱贞榕，程朋根，桂新，等. 地表温度反演的算法综述[J]. 测绘与空间地理信息，2016，39(5)：70－75. [ZHU Zhenrong, CHENG Penggen, GUI Xin, et al. Overview of surface temperature inversion algorithm[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2016, 39(5): 70－75.]

[32] 覃志豪，李文娟，徐斌，等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感，2004，(3)：28－32，36－41，74. [QIN Zhihao, LI Wenjuan, XU Bin, et al. Phase noise filterings in interferogram[J]. Remote Sensing for Land &Resources, 2004, (3): 28－32, 36－41, 74.]

[33] 蔡健. 基于城市用地信息与地表温度反演的城市风道构建[D]. 西安：长安大学，2017. [CAI Jian. Construction method of urban ventilation channel based on urban land information and surface temperature retrieval: Shanghai Perspective[D]. Xi'an: Chang'an University, 2017.]

Geographical exploration of the spatial pattern of the surface temperature and its influencing factors in western Sichuan Plateau: A case of Xichang City

LUO Yao[1,2], PENG Weng fu[1,2], DONG Yong-bo[1,2], LUO Yan-mei[1,2], ZHANG Dong-mei[1,2]

(1 *Institute of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu* 610068, *Sichuan, China*;

2 *Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest China, Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu* 610068, *Sichuan, China*)

Abstract: In this paper, the 2010 and 2015 Landsat series satellite images of Xichang City, Sichuan, China have been used. To obtain the 2010 and 2015 land use information of Xichang City, the maximum likelihood method of the supervision classification, the Google Earth high resolution images, and the GPS field verification data were utilized with the help of the "3S" technology. Next, the 2010 and 2015 surface temperature of Xichang City was inversely studied by the atmospheric correction method, and the high-temperature anomaly areas were verified by the field investigation. Finally, the geographical detector technique was adopted to quantitatively analyze the influence of nine factors, such as slope, total radiation, aspect, elevation, average annual precipitation, average annual temperature, vegetation type, soil type, and land use type on surface temperature. The results showed as follows: (1) the difference of the LST spatial distribution is remarkable. (2) the effects of the influencing factors on LST are different; the influences of altitude and annual temperature are more obvious while the total radiation has the least impact. (3) the factors that influence LST interact with each other. In general, LST is enhanced linearly or nonlinearly by the interaction of influencing factors, and (4) the influencing factors have significant differences based on surface temperature. For the highest mean value of surface temperature, the ranges or types of influencing factors will be different.

Key words: the surface temperature; the Spatial Pattern; Influence factors; geographical detector